

O analisador de espectro é um instrumento muito utilizado nas telecomunicações e na indústria de um modo geral. Como veremos a seguir, esse equipamento permite a visualização de anomalias em um sinal elétrico que não poderiam ser detectadas por outros instrumentos (osciloscópios, analisadores lógicos, etc.).

Como esse assunto é extenso, o artigo foi dividido em duas partes. A primeira delas abordará os conceitos fundamentais da análise do espectro e a “anatomia” do analisador.

A segunda parte estudará, com maiores detalhes, alguns conceitos práticos. Mãos-à-obra !

Alexandre Capelli



# ANALISADORES DE ESPECTRO

PARTE I

## O QUE É ESPECTRO, E POR QUE MEDI-LO?

A maioria dos técnicos e engenheiros eletrônicos estão habituados à análise do sinal elétrico tendo como referência o tempo.

O osciloscópio é o mais clássico instrumento dessa natureza.

Assim, quando queremos analisar a forma-de-onda, ou outro evento elétrico que se relacione com o tempo, o osciloscópio é uma poderosa ferramenta.

Mas, se ao invés de desejarmos saber qual é a forma-de-onda de um sinal, desejássemos saber o porque ela é dessa forma, qual instrumento

utilizaríamos? Resposta: o analisador de espectro.

Para explicar melhor o processo, vamos observar a **figura 1**.

No exemplo, a forma-de-onda apresentada no osciloscópio não é uma senóide (nem tampouco quadrada, ou triangular).

Suponha ainda que é um caso concreto em que o sinal deveria ser puramente senoidal.

O que está havendo com ele? Para responder a essa pergunta, vamos recordar algo sobre a “série de Fourier”. Ela diz que qualquer forma-de-onda pode ser construída através de um ou mais sinais senoidais com frequência, amplitude e fase apro-

priadas. Analogamente, qualquer sinal pode ser decomposto em senóides separadas.

Observem como a **figura 2** demonstra o sinal da **figura 1** decomposto por suas senóides.

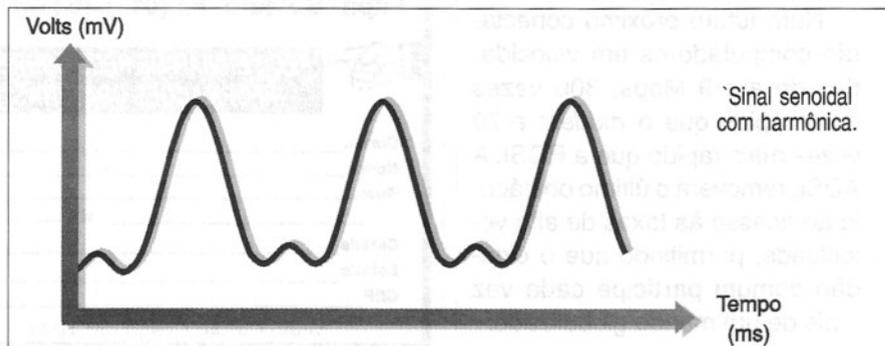
O eixo do domínio do tempo mostra o resultado da superposição da senóide fundamental com uma harmônica.

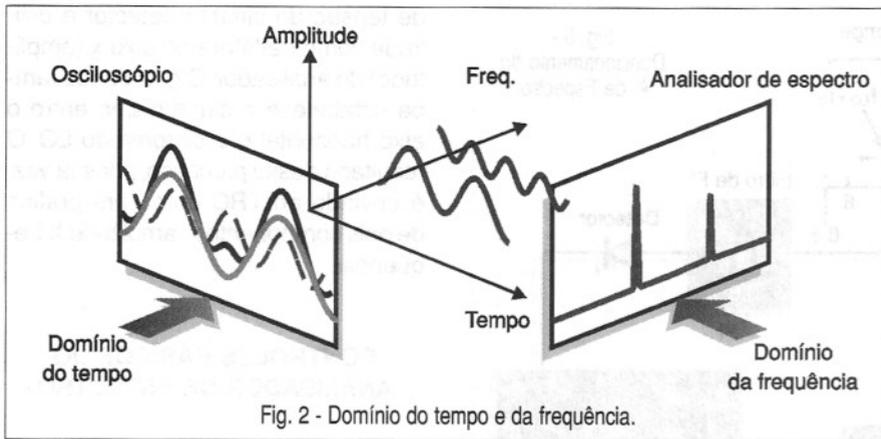
Esse é o resultado apresentado pelo osciloscópio. Já observando o domínio da frequência, podemos “enxergar” a amplitude e frequência da harmônica responsável pela deformação da senóide fundamental.

Temos aí a resposta mostrada pela tela do analisador de espectro. Através desse último resultado, podemos entender melhor o que ocorreu com o sinal.

A degradação de um sinal é um fator preocupante na eletrônica, principalmente nos sistemas de telecomunicações.

Com a análise do espectro de frequências, podemos projetar filtros que eliminem as harmônicas (ou ruídos aleatórios) que estejam interferindo no sinal fundamental.





### O QUE É UM ANALISADOR DE ESPECTRO?

O analisador de espectro é um instrumento utilizado para medir sinais no domínio da frequência. Existem dois tipos básicos de analisadores : FFT (*Fast Fourier Transform*) e o Super-heteródino.

Como o primeiro deles está voltado para aplicações bem restritas, vamos concentrar-nos apenas no analisador Super-heteródino, que essencialmente, é muito semelhante a um rádio receptor.

Temos certeza que a maioria dos leitores já ouviram falar nos rádios Super-heteródinos.

Apenas para relembrar, essa é uma técnica em que o sinal recebido é "misturado" com outro sinal produzido por um oscilador local.

O circuito sintonizador envia para as etapas amplificadoras apenas a diferença entre eles que, por ser constante (independente da frequência sintonizada), dispensa outros ajustes das etapas seguintes.

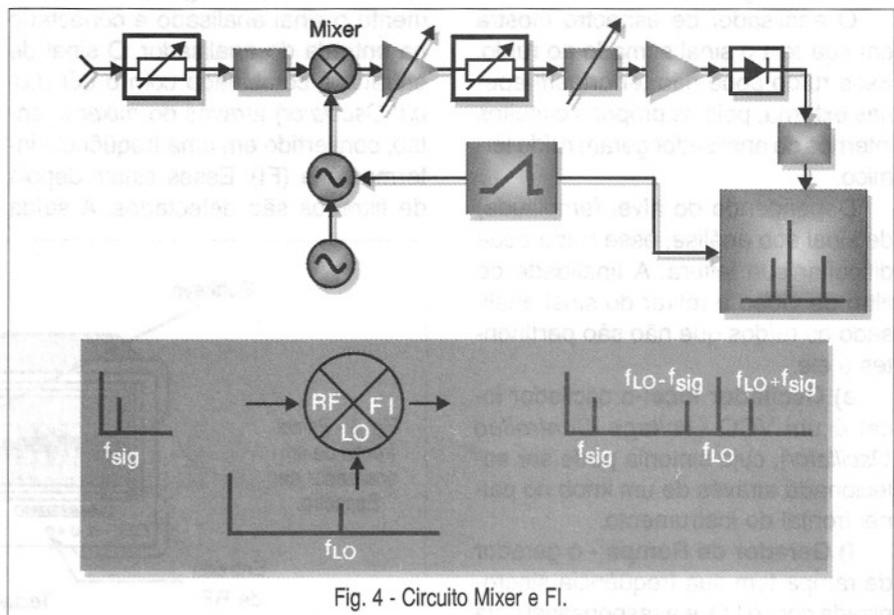
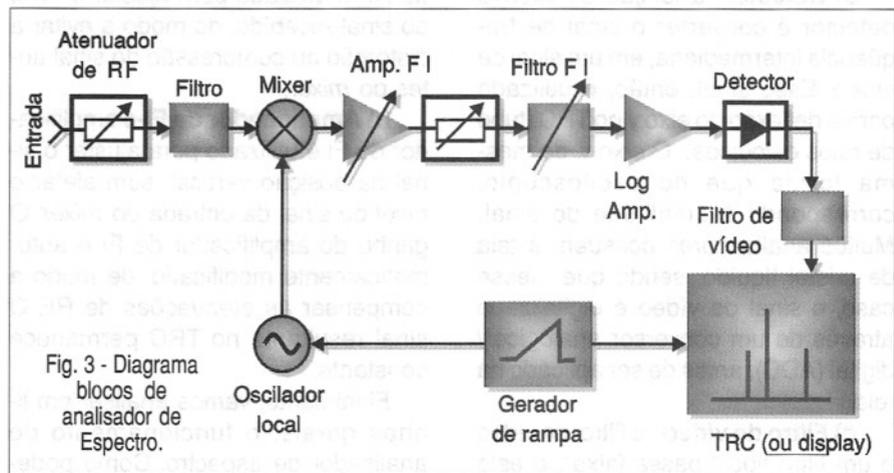
Essa frequência é chamada Frequência Intermediária (FI) que, para os rádios AM é 455 kHz, e para os rádios FM é 10,7 MHz.

O analisador de espectro segue a mesma filosofia de funcionamento, sendo que as duas diferenças básicas entre ele e o rádio são: o tubo de raios catódicos (ou *display*) no lugar de alto-falante, e a frequência do oscilador local que, no analisador, é selecionada através de um *knob* no painel frontal.

Essa frequência é mostrada na escala horizontal do instrumento, e pode ser parametrizada desde alguns kHz até MHz por divisão. Isso é chamado "Span / divisão".

### ESTRUTURA BÁSICA DE UM ANALISADOR DE ESPECTRO

A *figura 3* mostra o diagrama de blocos simplificado de um analisador de espectro. Antes de estudarmos o analisador como um todo, vamos fazer uma breve explicação de cada módulo :



a) **Módulo Mixer**-o *mixer* é um circuito que combina a frequência do sinal analisado com a frequência do oscilador local (LO). Esse circuito não é linear e, em sua saída temos duas frequências que correspondem à soma delas ( $f_{LO} + f_{sig}$ ) e à diferença ( $f_{LO} - f_{sig}$ ). Assim, como no rádio, a única que interessa para o analisador é à diferença (*fig 4*). Nesse ponto, o mixer converteu um sinal de RF em uma frequência intermediária que, agora, pode ser filtrada, amplificada, detectada e aplicada ao TRC (ou display).

b) **Filtro de FI**-o filtro de FI é um filtro tipo "passa faixa", e que pode ser considerado como uma "janela" para a detecção de sinais. Na verdade, a faixa de frequências do sinal que se deseja analisar (*bandwidth*) pode ser selecionada no painel do instrumento. Essa característica também é cha-

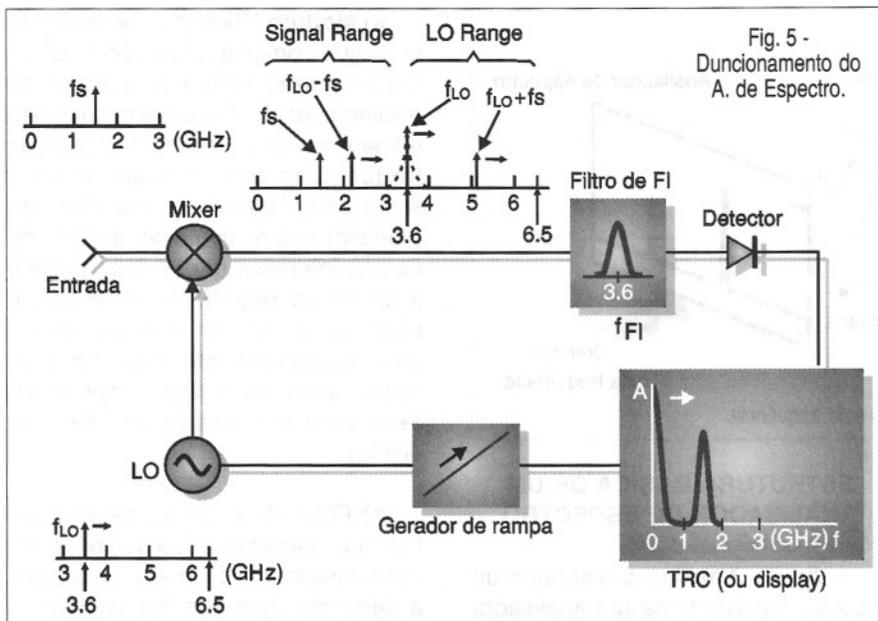


Fig. 5 -  
Duncionamento do  
A. de Espectro.

mada de RBW (*resolution bandwidth*).

**c) Detector-** a função do circuito detector é converter o sinal de frequência intermediária, em um sinal de vídeo. Esse sinal, então, é utilizado para a deflexão do eixo y no TRC (tubo de raios catódicos). O eixo y, da mesma forma que no osciloscópio, corresponde à amplitude do sinal. Muitos analisadores possuem a tela de cristal líquido, sendo que, nesse caso, o sinal de vídeo é digitalizado através de um conversor analógico / digital (ADC), antes de ser aplicado na tela.

**d) Filtro de vídeo** - o filtro de vídeo é um filtro tipo "passa faixa", e está localizado logo após o detector.

O analisador de espectro mostra em sua tela o sinal somado ao ruído. Esse ruído pode não ter origem apenas externa, pois os próprios circuitos internos do analisador geram ruído térmico.

Dependendo do nível (amplitude) de sinal sob análise, esse ruído pode dificultar sua leitura. A finalidade do filtro de vídeo é retirar do sinal analisado os ruídos que não são pertinentes a ele.

**e) Oscilador local**-o oscilador local é um VCO (*Voltage Controlled Oscillator*), cuja sintonia pode ser selecionada através de um knob no painel frontal do instrumento.

**f) Gerador de Rampa** - o gerador de rampa tem sua frequência sincronizada com o LO, e é responsável pela

deflexão do eixo x (domínio da frequência) na tela do instrumento ;

**g) Atenuador de RF**- o atenuador de RF é utilizado para ajustar o nível do sinal recebido, de modo a evitar a distorção ou compressão do sinal antes do *mixer*;

**h) Amplificador de FI**-o amplificador de FI é utilizado para ajustar o sinal da posição vertical, sem afetar o nível de sinal da entrada do *mixer*. O ganho do amplificador de FI é automaticamente modificado, de modo a compensar as atenuações de RF. O sinal resultante no TRC permanece constante.

Finalmente, vamos analisar em linhas gerais, o funcionamento do analisador de espectro. Como podemos observar pela **figura 5**, primeiramente o sinal analisado é conectado na entrada do analisador. O sinal de entrada é combinado com o LO (*Local Oscillator*) através do *mixer* e, então, convertido em uma frequência intermediária (FI). Esses sinais depois de filtrados são detectados. A saída

de tensão do circuito detector é utilizada como defletora do eixo x (amplitude) do analisador. O gerador de rampa estabelece o sincronismo entre o eixo horizontal e a sintonia do LO. O resultado desse processo, por sua vez, é enviado ao TRC como um gráfico de dois componentes : amplitude X frequência.

## CONTROLES BÁSICOS DO ANALISADOR DE ESPECTRO

De nada adiantaria estudarmos a teoria sobre o analisador de espectro, sem abordarmos alguns conceitos práticos sobre sua utilização. Atualmente, temos vários fabricantes desses instrumentos no mercado (Agilent Technologies, Tektronix, Minipa, etc.), e cada um deles possui vários modelos. Para aproveitar convenientemente todos os recursos que um analisador de espectro oferece, teríamos que (no mínimo) ler integralmente o seu manual do usuário. Algumas empresas promovem até palestras e cursos sobre esses (e outros) instrumentos de medição. Podemos encontrar também uma farta quantidade de informações sobre isso na *web*.

De qualquer forma, independentemente de um modelo ou fabricante específico, o analisador de espectro tem três controles básicos : nível de referência, frequência, e "Span" por divisão, **figura 6**.

**a) Controle do nível de referência** - o controle do nível de referência varia o nível do sinal de modo a produzir uma deflexão completa na tela do instrumento. Por exemplo, façamos o ajuste do nível de referência para 10 dBm, essa será a amplitude máxima que o sinal sob análise poderá ter, de modo a ser visualizado por

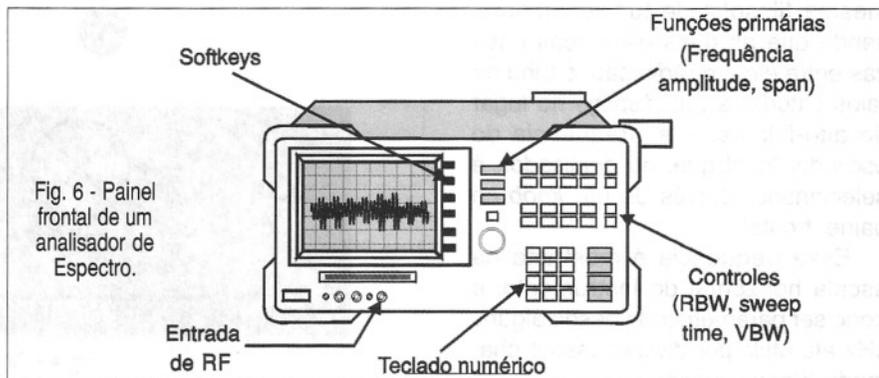


Fig. 6 - Painel frontal de um analisador de Espectro.

completo. Esse controle assemelha-se ao volts /div, no osciloscópio.

Para determinarmos o nível de um sinal, multiplicamos o número de divisões que está abaixo da linha de referência vertical, e subtraímos o resultado pelo nível de referência. Ainda com base no exemplo acima, suponha que o sinal sob análise ocupe 2 divisões, e que o fator por divisão esteja em 10 dB (10 dB / div). A amplitude desse sinal será = -10 dBm-(2x 10 dB/div) = -30 dBm.

A **figura 7** mostra esse exemplo.

Apesar do nível de referência ser uma função do atenuador de RF e do amplificador de frequência intermediária, o analisador seleciona automaticamente o montante de atenuação da RF e o ganho da frequência intermediária, para evitar a necessidade do "manuseio" de dois controles a mais.

Cabe lembrar que todos os analisadores possuem um nível máximo de entrada, que jamais deverá ser excedido.

Tipicamente, esse sinal encontra-se entre + 20 a + 30 dBm (2,24 a 7,07 volts). Os analisadores de espectro também são sensíveis a entradas com grande nível DC.

O valor máximo do nível DC permitido deve estar indicado próximo ao conector de entrada.

**"Mas, como posso medir sinais com nível DC, ou em frequências muito baixas?"**

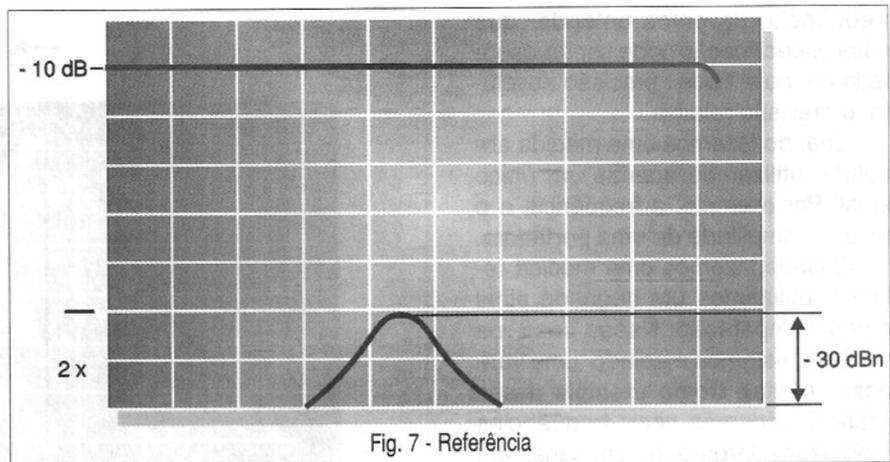
Para quem tem esse problema, aqui seguem algumas dicas :

- ajuste o analisador para o máximo nível de referência ;
- caso o nível DC seja muito grande, instale um capacitor externo de desacoplamento ;
- caso o nível de tensão total seja muito grande, utilize um atenuador externo (transformador de ferrite, filtros LC, etc.) ;
- ajuste a atenuação interna de modo a permitir uma visualização satisfatória do sinal.

#### **Cuidado !**

Exceder o limite máximo de tensão da entrada do analisador pode causar danos graves ao instrumento.

**b) Controle de frequência-** assim como no osciloscópio o eixo x (horizontal) refere-se ao domínio do tem-



po, analogamente, o eixo x no analisador de espectro é o domínio da frequência. Há dois modos de ajuste para a frequência : a frequência central, e frequência de partida (*Starting Frequency*).

A frequência central adota o centro da tela como referência de medida, e o modo frequência de partida adota o canto esquerdo da tela.

De uma maneira ou de outra, a maioria dos analisadores de espectro possuem um *knob* no painel frontal para o ajuste da frequência. Alguns modelos que utilizam tecnologia digital, entretanto, podem apresentar o ajuste automático da frequência, dispensando assim esse controle manual no painel.

**c) Controle de Span** - o controle de Span ou *Span / Div* regula a largura do espectro de frequência mostrado na tela, através da largura da rampa gerada no oscilador local. Como o eixo das frequências (horizontal) tem geralmente dez divisões, o Span também influencia a frequência total do instrumento.

Uma característica interessante do analisador de espectro é o seu funcionamento como radio receptor. Alguns instrumentos possuem uma saída de áudio.

Caso o controle de Span / Div seja ajustado para frequências na faixa de AM, ao conectarmos um pequeno alto-falante nessa saída, poderemos ouvir a transmissão de alguma estação local.

Normalmente esse controle pode ser ajustado desde alguns kHz até milhares de MHz, e fazendo uma comparação com o osciloscópio, esse controle assemelha-se ao Tempo / Div.

## ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

"Quais são as características que eu devo observar na escolha de um analisador de espectro, para que ele possa atender às minhas necessidades de modo satisfatório?"

Várias são as características que definem a performance de um analisador de espectro, porém, as principais são: faixa de frequência; precisão da frequência e amplitude; resolução; sensibilidade; distorção; e faixa dinâmica.

Vamos comentar um pouco sobre cada uma delas.

**a) Faixa de frequência-** a mais importante característica técnica do analisador de espectro é a faixa de frequências em que ele pode operar.

Um fator importante a ser observado é que a capacidade de analisar sinais apenas nas frequências fundamentais da sua aplicação não basta. Não podemos esquecer das harmônicas e sinais "espúrios" que ocupam frequências bem mais altas do que a fundamental. Um exemplo prático está nas telecomunicações. Alguns sistemas de telefonia celular operam em 900 MHz, implicando em que a frequência do analisador de espectro deve ser no mínimo 10 x 900 MHz = 9 GHz.

Com essa faixa de frequências, podemos observar bem os sinais até a décima harmônica.

**b) Precisão** - a segunda característica que deve ser observada em um analisador de espectro é a precisão, tanto de amplitude como da frequência. Quando falamos em precisão de

freqüência, devemos entender que essa especificação pode ser apresentada em dois tipos : precisão absoluta, e precisão relativa.

Quando fazemos uma medida absoluta, utilizamos apenas um único sinal. Por exemplo: a freqüência e o nível de amplitude de uma portadora.

Quando fazemos uma medida relativa, utilizamos um segundo sinal como comparação. Nesse caso, na verdade, estamos medindo uma variação (delta). Como exemplo dessa prática, podemos citar: freqüências moduladas, largura de um canal em relação a outro, freqüência de *offset* em relação à sua portadora, etc.

As medidas relativas são mais precisas que as absolutas. Existem vários fatores que influenciam a precisão do analisador de espectro. A precisão dos osciladores internos é a mais significativa, considerando-se que alguns instrumentos utilizam cristais de alta performance para melhorar essa característica (**figura 8**).

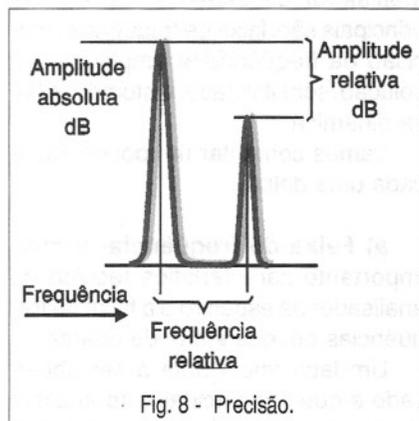


Fig. 8 - Precisão.

Podemos encontrar duas categorias de analisadores de espectro no mercado quanto à precisão: *Synthesized* e *Free-running*. O primeiro deles utiliza uma arquitetura interna com osciladores em PLL, e sua precisão é da ordem de algumas centenas de hertz. O *free-running*, instrumento de menor custo, opera com osciladores convencionais, e sua precisão típica é da ordem de alguns megahertz.

A precisão em amplitude, por sua vez, também é fundamental em um analisador de espectro. Os dois fatores essenciais que determinam essa característica são : fidelidade da tela do instrumento e resposta em freqüência. Muitas vezes, quando o analisador opera com sinais de baixa

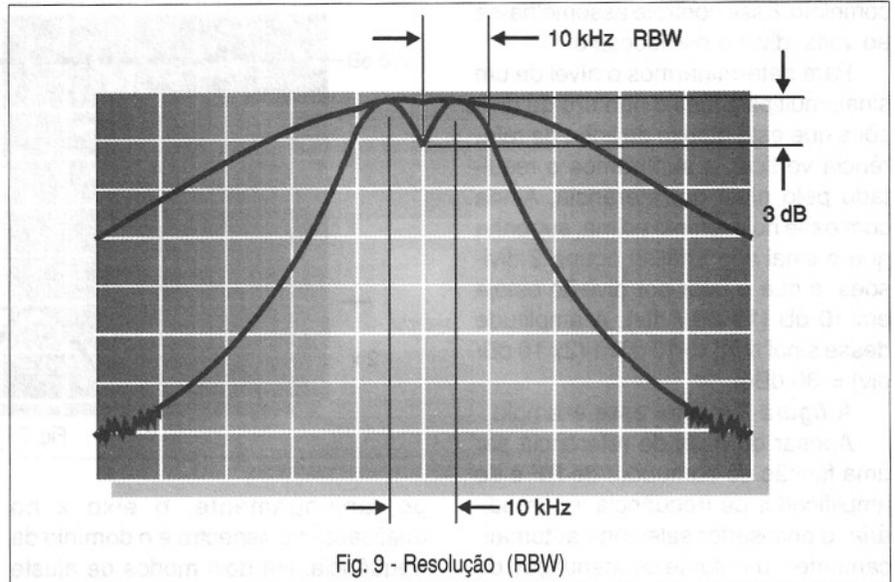


Fig. 9 - Resolução (RBW)

amplitude, algumas harmônicas podem ser muito pequenas. Caso o analisador não tenha a capacidade de mostrar claramente sinais pequenos, poderemos fazer uma análise incorreta do fenômeno.

**c) Resolução** - a resolução, ou RBW (*resolution bandwidth*) é a capacidade que o analisador de espectro possui em distinguir dois sinais de igual amplitude. Por exemplo, se dois sinais estão com 10 kHz de separação, um RBW de 10 kHz pode separá-los facilmente. Já, com um RBW mais "largo", esses dois sinais podem aparecer como um único, vide **figura 9**.

**d) Sensibilidade** - a sensibilidade é a capacidade de detectar e medir sinais de baixa amplitude. Quanto mais sensível, melhor será a medida de pequenos sinais. Um analisador de espectro ideal não adiciona ruído térmico, representado por KTB (K = Constante de Boltzman ; T = temperatura, e B = largura da banda), ao sinal sob análise. Na prática, entretanto, tal analisador não existe, e sempre um pequeno ruído é acrescentado ao sinal. O montante desse ruído é definido como DANL (*Displayed Average Noise Level*), e é medido em dBm. Valores típicos de sensibilidade encontram-se na faixa de -90 dBm a -145 dBm.

A análise dessa característica é fundamental na escolha do instrumento, pois sinais que se encontrem abaixo do nível de ruído não poderão ser medidos.

**e) Distorção** - a distorção em um analisador de espectro é causada pelo seu circuito interno de *mixer* (analisador super-heteródino). Como esse circuito não é linear, sua distorção poderá "cobrir" o sinal sob análise.

**Mas, qual a distorção máxima que um analisador pode apresentar?**

Essa é uma questão polêmica, e não existe uma regra geral. Normalmente, quando estamos realizando um teste, ele deve ter uma norma técnica que limita a distorção do instrumento de medida. O analisador, portanto, deve apresentar uma distorção bem mais baixa do que a especificada pelo teste.

**f) Faixa dinâmica** - a faixa dinâmica (*Dynamic Range*) é definida como a razão máxima entre os dois níveis de dois sinais simultâneos, que pode ser medida com uma precisão aceitável.

Imaginemos dois sinais aplicados na entrada do analisador, sendo um deles com o nível igual ao máximo permitido pelo instrumento, e o outro com um nível significativamente menor, isto é, qualquer redução em sua amplitude tornaria sua visualização impossível.

Enquanto ainda podemos medir esse segundo pequeno sinal, a razão entre os dois sinais (em dB) define a faixa dinâmica (**figura 10**).

Os fatores que podem tornar esse segundo sinal indetectável são todos

os discutidos até agora: RBW, distorção, e ruído do analisador.

## CONCLUSÃO

O analisador de espectro é um instrumento que oferece uma infinidade de recursos. Saber utilizá-lo corretamente pode facilitar muito a análise de problemas envolvendo ruídos e harmônicas.

O artigo que o leitor acabou de ler, apresentou apenas uma breve introdução sobre as medidas espectrais, e a arquitetura básica do analisador. A segunda parte desse artigo abordará algumas aplicações práticas, procurando sempre fornecer "dicas" para os técnicos e engenheiros sobre possíveis soluções de problemas encontrados no campo. Aproveitamos essa oportunidade para fazer nossos agradecimentos à Agilent Technologies e à Tektronix pelo fornecimento das valiosas informações que muito contribuíram para esse artigo. Para aque-

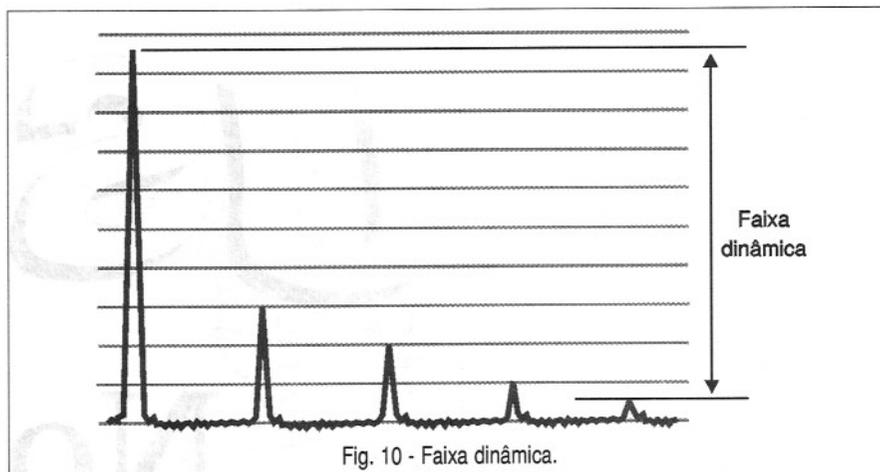


Fig. 10 - Faixa dinâmica.

les leitores que necessitem de maiores informações sobre analisadores de espectro, seguem alguns *sites* e *application-notes* que, com certeza, podem ajudar muito:

### Sites:

[www.agilent.com](http://www.agilent.com) - Institucional  
[product.agilent.com/lookup/index.htm](http://product.agilent.com/lookup/index.htm)  
[www.educatorscorner.com](http://www.educatorscorner.com)  
[tmobrasil@agilent.com](mailto:tmobrasil@agilent.com) (e-mail para

contato e solicitações de maiores informações)  
[www.tektronix.com.br](http://www.tektronix.com.br)

### Application-notes:

AN 150 (Agilent Technologies)  
26 w-7078 (Tektronix)  
26 w-7071 (Tektronix)

Não percam a segunda parte desse artigo no próximo mês, e... até a próxima! ■

## GANHE DINHEIRO INSTALANDO BLOQUEADORES INTELIGENTES DE TELEFONE

Através de uma senha, você programa diversas funções, como:

- BLOQUEIO/DESBLOQUEIO de 1 a 3 dígitos
- BLOQUEIO de chamadas a cobrar
- TEMPORIZA de 1 a 99 minutos as chamadas originadas
- E muito mais...

### Características:

Operação sem chave  
Programável pelo próprio telefone  
Programação de fábrica: bloqueio dos prefixos 900, 135, DDD e DDI  
Fácil de instalar  
Dimensões:  
43 x 63 x 26 mm  
Garantia de um ano, contra defeitos de fabricação.

**APENAS  
R\$ 48,30**



# TECNOLOGIA DE VÍDEO DIGITAL

O Futuro em suas mãos  
Mais um lançamento em Vídeo Aula do Prof. Sérgio Antunes

### TÍTULOS:

- 158 - Princípios essenciais do Vídeo Digital
- 159 - Codificação de sinais de Vídeo
- 160 - Conversão de sinais de Vídeo
- 161- Televisão digital - DTV
- 162 - Videocassete Digital
- 165 - Service Conversores de Satélite
- 175 - DAT - Digital Audio Tape

**PREÇO R\$ 55,00 +  
despesas de envio**

Válido até 30/12/2000

## SABER PUBLICIDADE E PROMOÇÕES LTDA.

Verifique as instruções na solicitação de compra da última página. Maiores informações  
**Disque e Compre (0 XX 11) 6942-8055.** -Rua Jacinto José de Araújo, 309 - Tatuapé - São Paulo - SP  
**REMETEMOS PELO CORREIO PARA TODO O BRASIL**

# PARTE II

# ANALISADORES DE ESPECTRO

Na revista Saber Eletrônica nº334 estudamos o assunto "Analisadores de Espectro", mostrando o princípio de funcionamento e as principais funções desse instrumento. A segunda parte desse artigo abordará algumas aplicações práticas, fornecendo "dicas" para o usuário aproveitar ao máximo o potencial do analisador. Para "refrescar" a memória do nosso leitor, e de quem não leu a primeira parte, faremos uma breve recapitulação sobre as bases do analisador de espectro. Boa leitura!

Alexandre Capelli

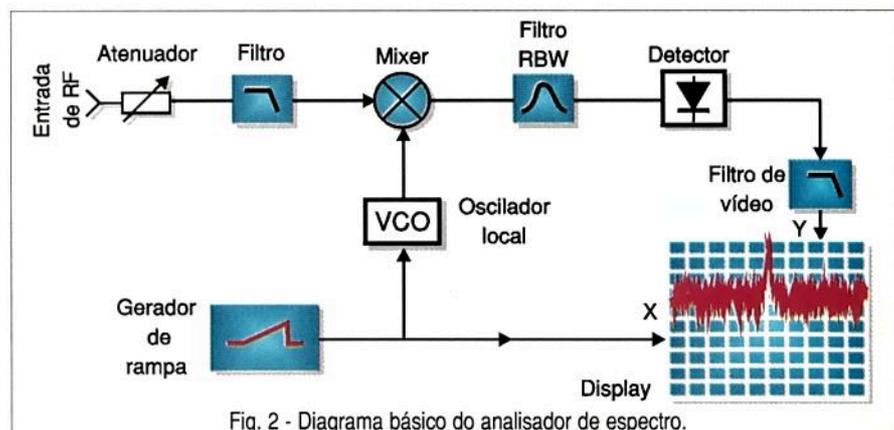
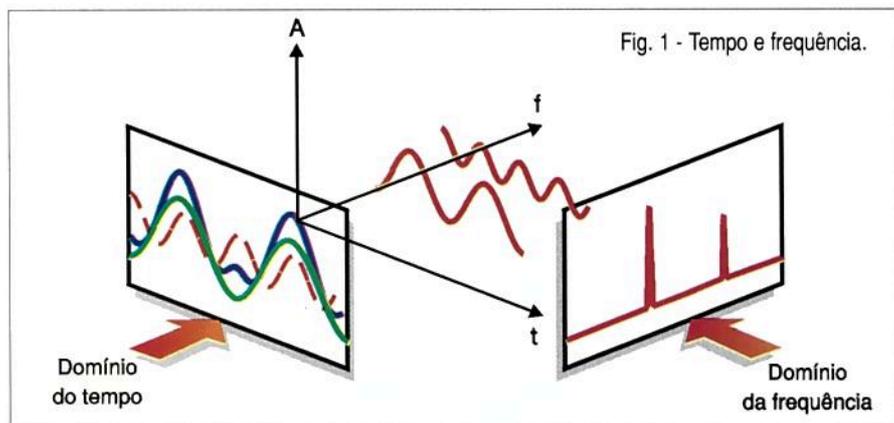
## ANALISADOR DE ESPECTRO HETERÓDINO

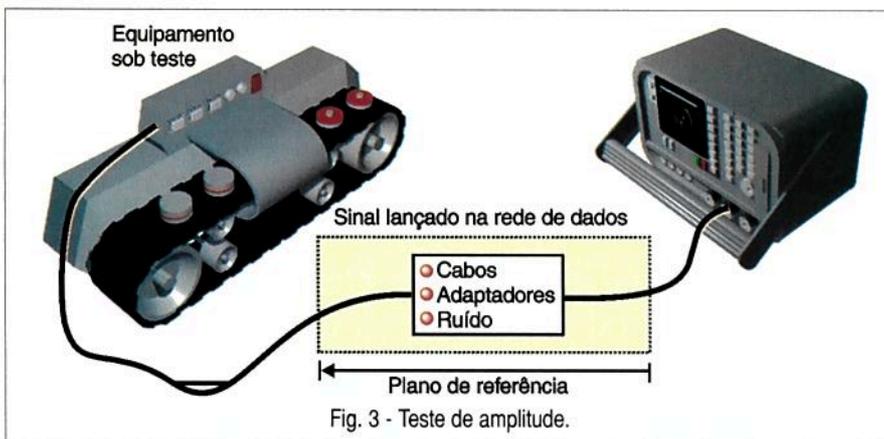
O analisador de espectro, assim como o osciloscópio, é uma ferramenta básica para o estudo dos sinais elétricos. A diferença entre esses dois instrumentos está no domínio do trabalho. Enquanto o osciloscópio trabalha com o domínio do tempo, o analisador de espectro trabalha no domínio da frequência, vide **figura 1**.

A **figura 2** mostra o diagrama de blocos simplificado de um analisador heteródino. Primeiramente, o sinal sob análise trafega por um atenuador e um filtro passa-baixa. O atenuador limita a amplitude do sinal e o filtro elimina frequências indesejáveis.

Após essas etapas, o sinal é misturado com outro, gerado por um VCO (*Voltage Controlled Oscillator*). A frequência do VCO é controlada por um gerador de rampa, que também excita os drives do eixo horizontal da tela.

Assim como em um receptor de rádio heteródino, quando a frequência do sinal de entrada muda, a frequência do VCO também muda na





mesma proporção. A saída dessa etapa é a diferença entre essas duas frequências, que sempre se mantém constante e é chamada de FI (frequência intermediária).

A frequência intermediária, então, é enviada a um circuito detector, que produz uma tensão DC proporcional. Essa tensão determina a posição do eixo vertical através de um "traço". Esse traço representa a potência da componente espectral do sinal para aquela frequência, e é marcada no eixo horizontal.

Há três passos essenciais no analisador de espectro que devem ser observados no estudo dos sinais:

- Preparo da entrada do sinal.
- Preparo do instrumento.
- Interpretação dos resultados obtidos.

### MEDIÇÕES DE AMPLITUDES COM CORREÇÃO DE ERRO (AMPCOR)

Quando fazemos medições de amplitude com o analisador de espectro, é fundamental que qualquer efeito que provoque alteração entre o sinal analisado e o instrumento seja eliminado. Um dos métodos para isso é a função "correção de erro" (Ampcor). Essa função, doravante chamada Ampcor (*amplitude correction*), funciona em conjunto com uma fonte de sinal e um medidor de potência (*figura 3*).

A Ampcor tem uma "lista" de frequências e amplitudes programadas internamente no analisador, e que corrige a forma-de-onda ponto a ponto, alterando os "offsets" do sinal de entrada de acordo com a necessidade. A *figura 4* ilustra um sinal presente em uma rede de dados (*Network*) que, além de atenuar o sinal do equipamento sob teste, injeta "Spikes" de

ruído. Para cancelar esses efeitos indesejados, primeiramente medimos (com a fonte de sinal e o medidor de potência) a atenuação (ou ganho) causado pelo sinal interferente na rede. Por exemplo: 600 MHz envia 0 dBm através da rede.

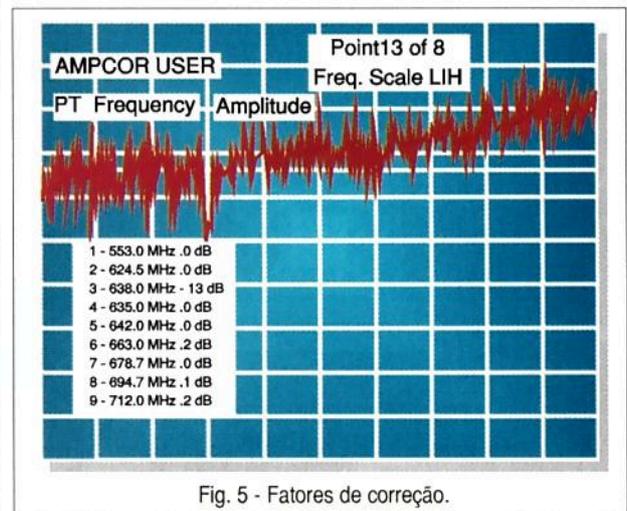
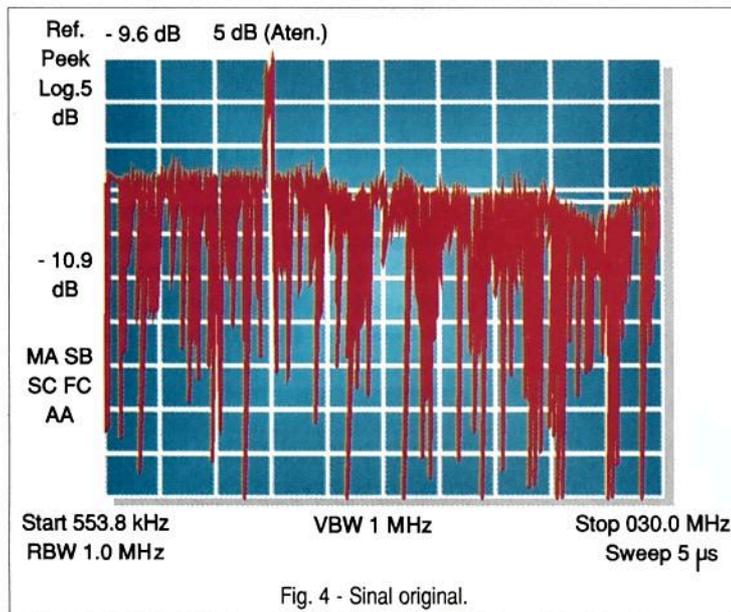
Façamos agora várias medidas por diferentes pontos da faixa de frequência (amostragem). Alimentamos a Ampcor do analisador de espectro com esses dados (*figura 5*). Agora, com essa função ativada, os efeitos indesejados são eliminados através da correção ponto a ponto.

A *figura 6* mostra o sinal sem as interferências.

### UTILIZANDO O ANALISADOR DE ESPECTRO COMO UM ANALISADOR DA REDE ELÉTRICA E EMI

Recentemente, a revista Saber Eletrônica publicou um artigo sobre interferências eletromagnéticas (EMI) e os processos de certificação que o mercado internacional está exigindo para os equipamentos eletroeletrônicos. A EMI pode gerar frequências harmônicas que "sujam" a rede elétrica em diversas faixas de frequências. Uma das maneiras de medirmos esses efeitos é através do analisador de espectro, acoplado a alguns acessórios. A *figura 7* apresenta o diagrama da conexão de um analisador com um LISN e um limitador.

Esse acessório permite que ruídos lançados na rede elétrica e localizados na faixa de 9 kHz a 30 MHz sejam detectados e medidos.



Através desses valores, podemos dimensionar filtros que atenuem esse fenômeno indesejado.

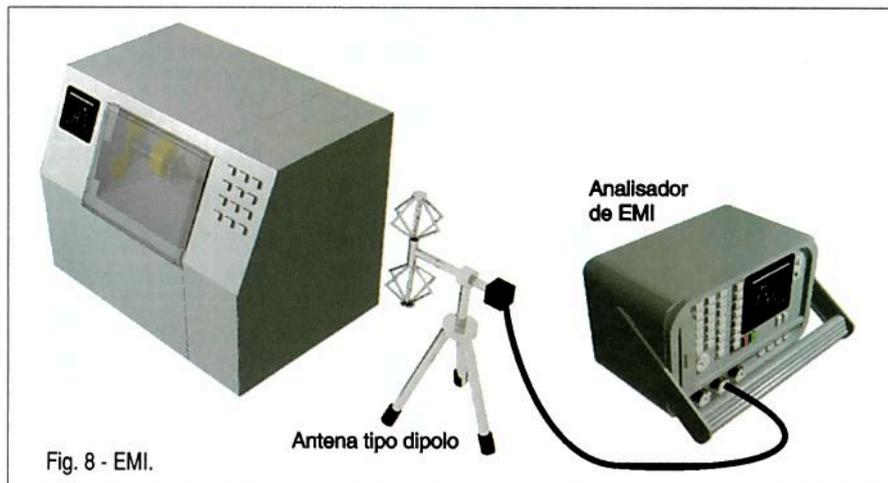
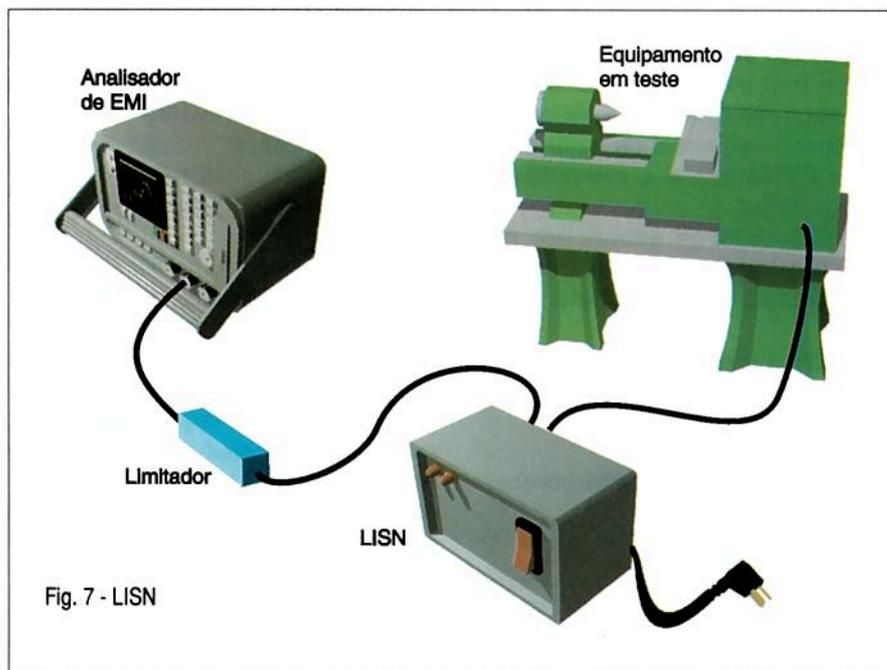
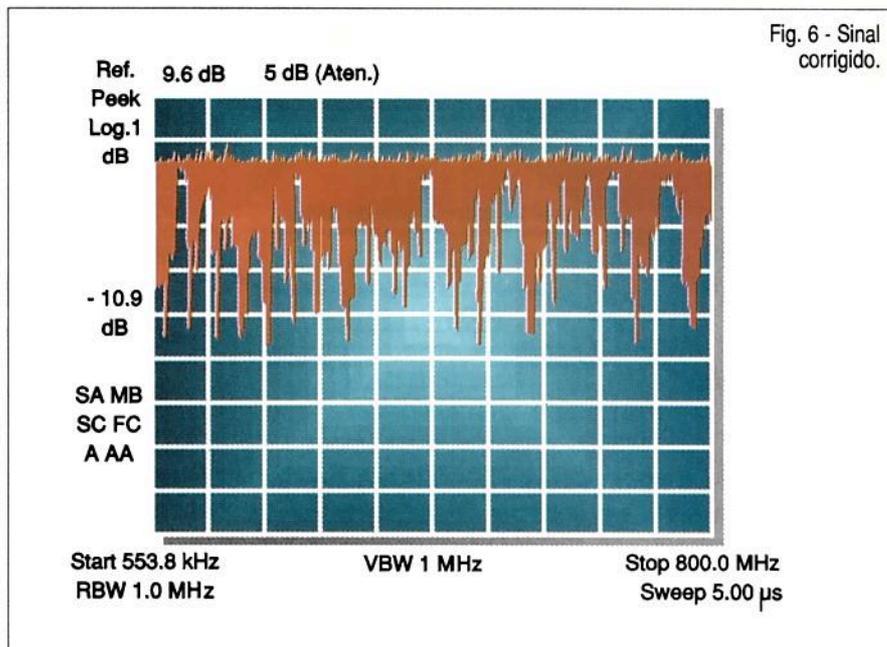
A EMI também propaga-se pelo ar (éter) e, através de uma antena tipo dipolo, podemos medi-la em um analisador de espectro. A **figura 8** mostra essa conexão, sendo que o equipamento sob teste deve estar localizado em um ambiente não refletivo, a fim de que não haja alterações das medidas.

Outro acessório é a "ponta de campo fechado". Após a descoberta da existência de um problema de EMI, o próximo passo é isolar a fonte geradora. Conforme mostra a **figura 9**, através da ponta de campo fechado podemos localizar a fonte de emissão. Normalmente, essa ponta deve ser utilizada em conjunto com um pré-amplificador (que é outro acessório).

### MEDINDO SINAIS DE BAIXA AMPLITUDE

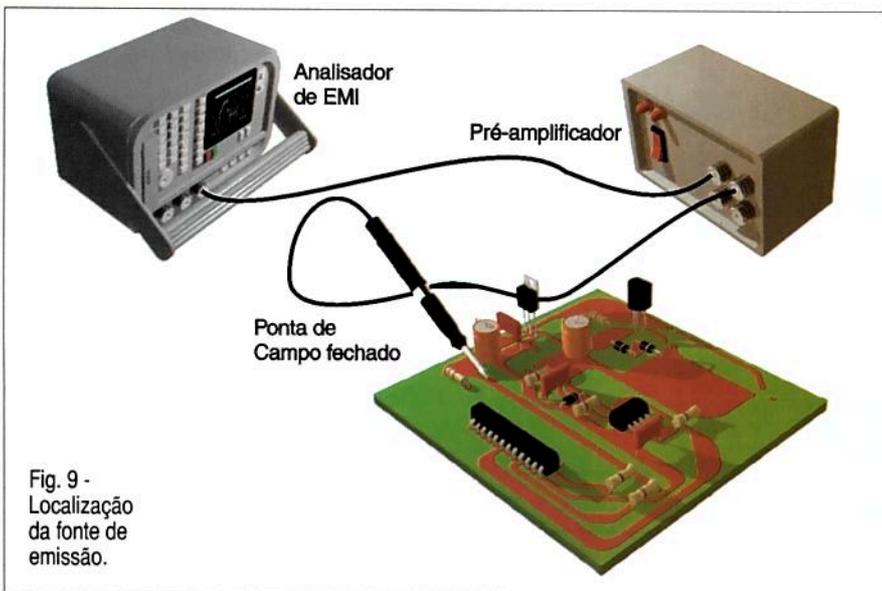
A capacidade do analisador para medir sinais de pequena amplitude é limitada pela geração interna de ruído do próprio instrumento. Isso significa que a sensibilidade para "pequenos" sinais é influenciada pelo modo como regulamos o analisador. Precisamente, a entrada do atenuador e a largura de banda (RBW) são os fatores-chaves que determinam o quanto pequeno um sinal pode ser analisado.

A **figura 10** ilustra o exemplo de um sinal de 50 MHz de baixa amplitude, onde o atenuador, quando ativado, reduz o nível do sinal na entrada do misturador. Um amplificador lo-



calizado na saída do misturador, entretanto, reamplifica o sinal para que ele se mantenha com o mesmo nível da entrada do analisador. Cabe esclarecer que o sinal é atenuado antes do misturador para evitar a distorção, e deve ser reamplificado após o mesmo, para que o sinal sob análise retorne à sua amplitude original. Quando o sinal é reamplificado, o ruído também o é. Esse fenômeno pode ser observado na tela do instrumento.

O filtro de RBW afeta a capacidade de medir sinais pequenos e próximos em amplitude, tendo em vista a presença de um outro bem maior. Au-



- Selecione o traço A como a entrada ativa, e ative a função "Marker Δ".

- O analisador de espectro agora mostra o dado gravado no traço B e a medida no traço A. Enquanto a função Marker Δ estiver ativa, o resultado na tela será a diferença entre os dois sinais (tanto na amplitude como na frequência).

- Finalmente, aumente a atenuação de RF para 10 dB e compare a resposta no traço A em relação ao traço B.

Caso as respostas sejam semelhantes a **figura 13**, então o analisador está gerando uma distorção interna. Nessa situação, a atenuação é neces-

mentando a banda desse filtro, maior energia de ruído chega ao circuito detector. Isso também pode ser facilmente visualizado na tela. Para uma sensibilidade máxima, ambos (atenuador e filtro RBW) devem ser regulados para o mínimo valor possível.

A **figura 11** mostra o sinal da **figura 10** após os controles do atenuador e filtro terem sido minimizados.

Caso haja muito ruído presente na tela, após o ajuste desses controles, o filtro de vídeo poderá ajudar.

A **figura 12** mostra o mesmo exemplo com o filtro de vídeo ativado.

### IDENTIFICANDO AS DISTORÇÕES INTERNAS

Enquanto os sinais de baixa amplitude podem ser de difícil visualização, os de alta amplitude podem causar distorção e, conseqüentemente, alterar a leitura real.

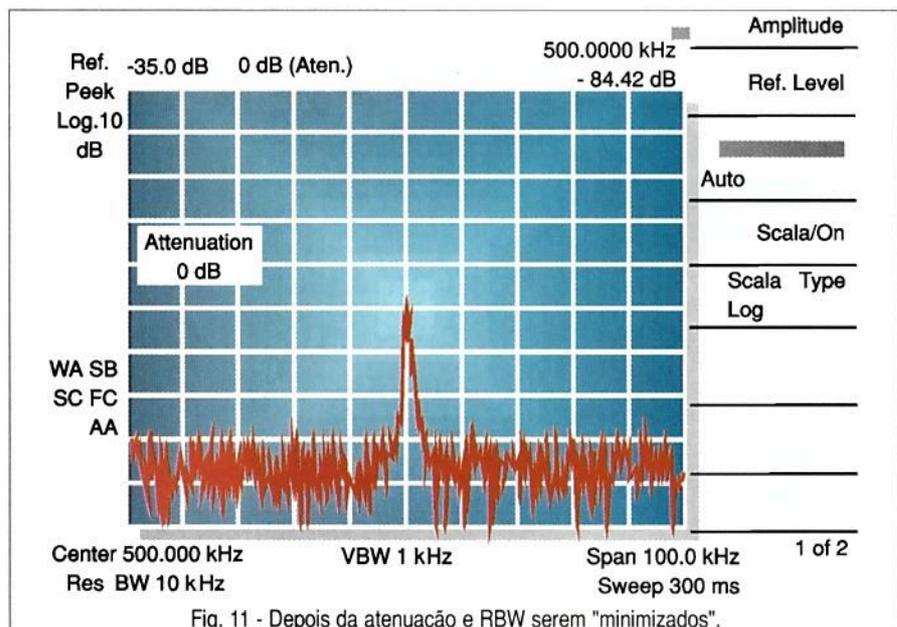
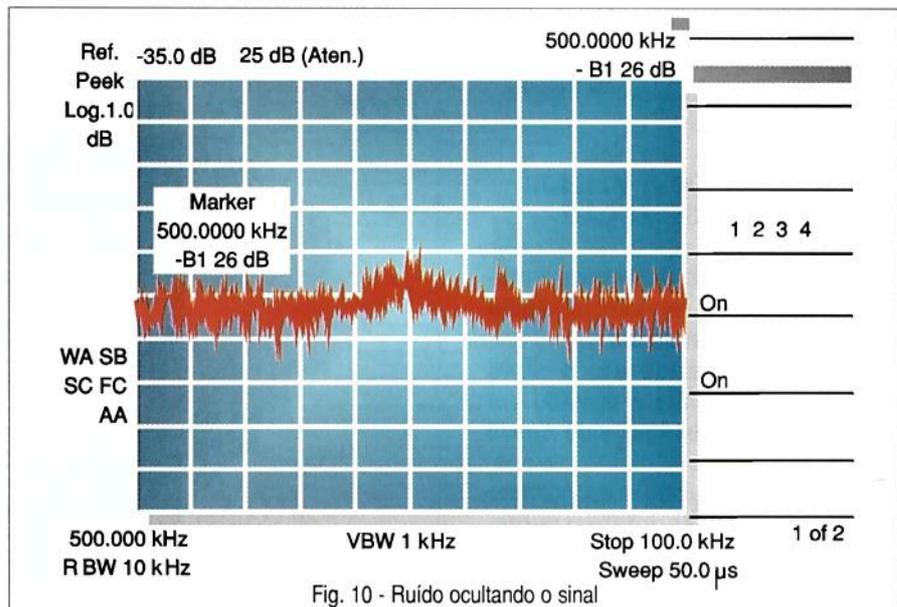
Utilizando o recurso de traços duplos e o atenuador de RF, podemos determinar quais sinais, no caso de vários, são gerados devido à distorção do instrumento.

Para identificá-los, basta seguirmos os passos abaixo:

- Sintonize a segunda harmônica da entrada do sinal.

- Programe o atenuador de entrada para 0 dBm.

- Grave o dado da tela no traço B.



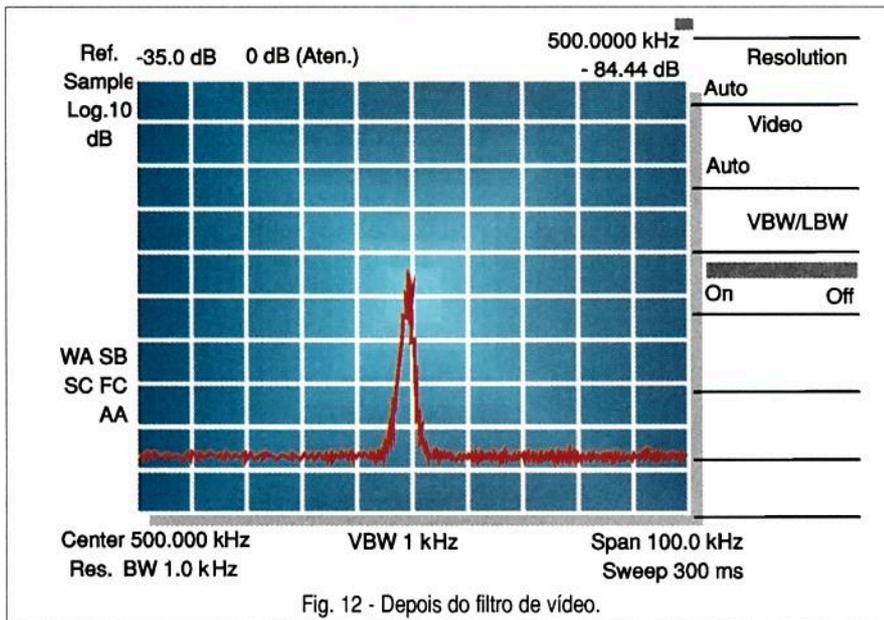


Fig. 12 - Depois do filtro de vídeo.

sária. Caso o resultado assemelhe-se à figura 14, não há distorção interna .

### SELECIONANDO O MELHOR MODO DE DETECÇÃO

Os analisadores de espectro modernos utilizam a tecnologia digital para a aquisição de dados.

Nesses analisadores, o sinal analógico sob análise é dividido em "bins" (amostras binárias), vide figura 15.

Esse tipo de arquitetura permite algumas facilidades interessantes, uma delas é o modo de detecção. Normalmente, os analisadores de espectro possuem dois ou três modos de detecção, sendo que a escolha de

Fig. 13 - Distorção Interna.

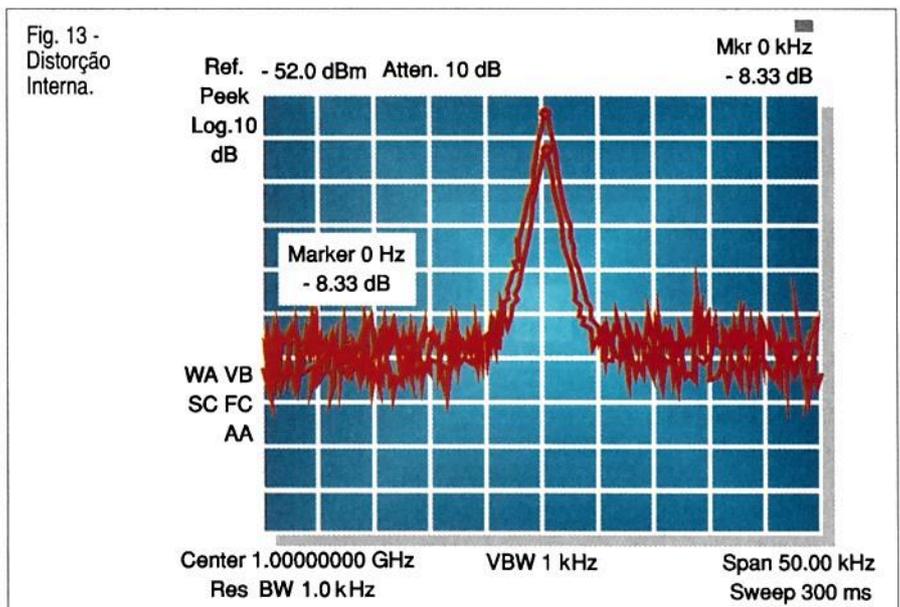
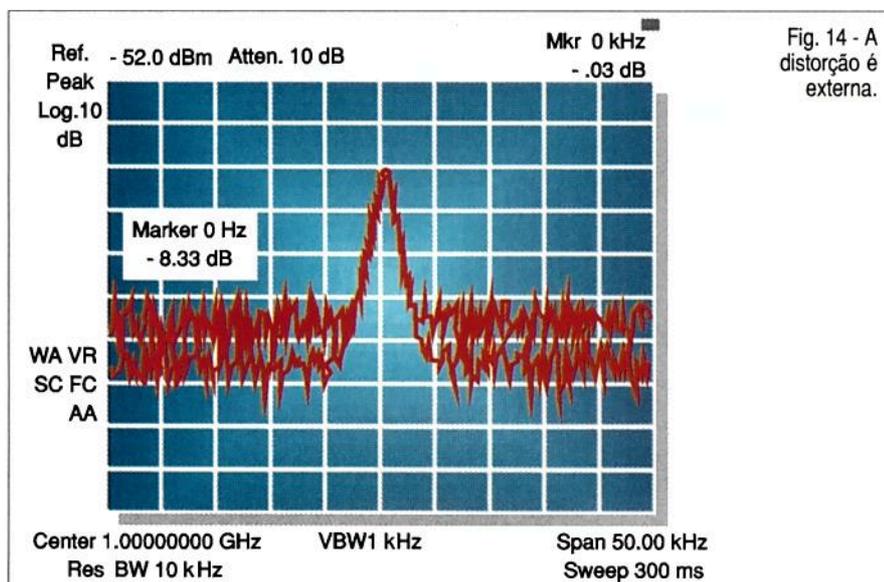


Fig. 14 - A distorção é externa.



um deles poderá influenciar significativamente os resultados .

" Mas, quais são esses modos , e qual deles é o melhor ?"

Basicamente temos três modos principais: detecção por pico; detecção por amostragem e detecção por pico negativo. A escolha de um ou outro varia segundo a aplicação. Fazemos uma breve análise de cada um.

#### - Detecção por Pico

Nesse caso, o circuito detector mede o maior nível em cada "bin". Esse modo é indicado para medidas senoidais, porém apresenta o inconveniente de "exagerar" o valor do ruído quando a senóide não está presente.

#### - Detecção por Pico negativo

Ao contrário do primeiro modo, agora o analisador mostra o menor nível em cada "bin". Essa é uma boa condição para medidas em AM e FM. Embora esse modo comprometa um pouco a sensibilidade do analisador de espectro, ele possui uma boa performance na separação entre ruídos aleatórios e ruídos de pulso .

#### - Detecção por Amostragem

A detecção por amostragem mede o último nível gravado após cada "bin". Esse modo é indicado como um bom medidor de ruídos, principalmente aleatórios, porém não é um bom modo para sinais periódicos (senoidais , por exemplo).

Para melhor compreensão desses três modos veja a **figura 16**.

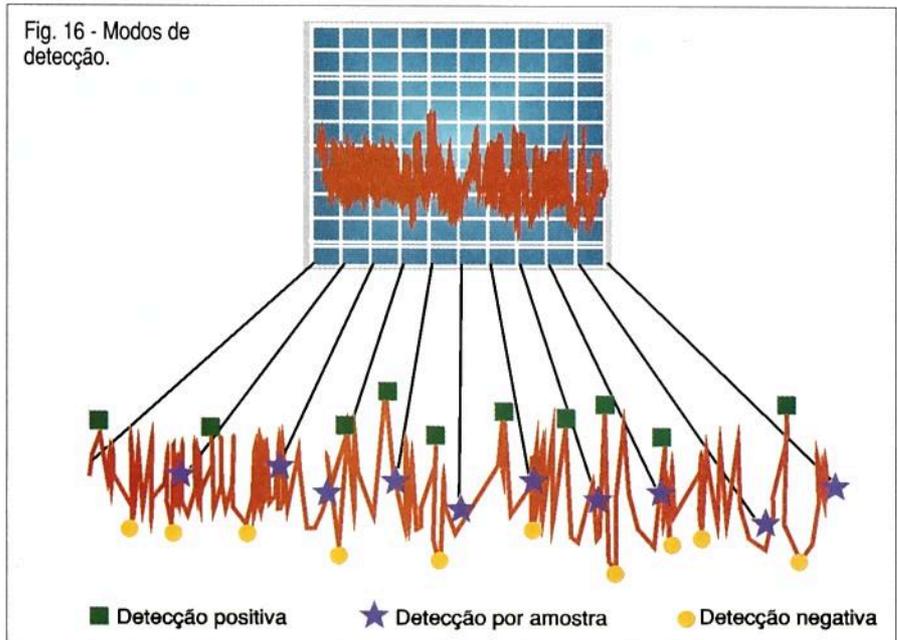
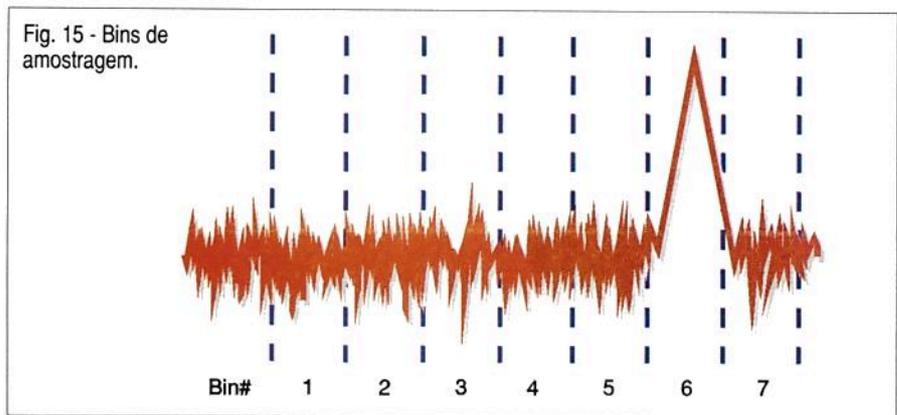
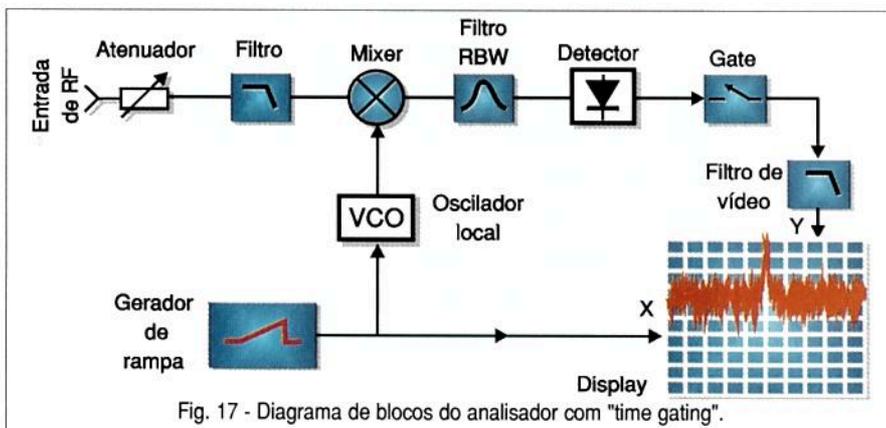
## MEDINDO SINAIS SINCRONIZADOS

Uma das melhores maneiras de medirmos pulsos de sincronismo com o analisador de espectro, é utilizando o recurso "time gated". Como o próprio nome sugere, nesse modo o analisador torna-se sensível ao sinal apenas quando o 1º pulso "dispara" os circuitos de vídeo (**figura 17**). O analisador, então, retarda o sinal proporcionando tempo suficiente para que a análise se complete sem interferências da envoltória. Na **figura 18** temos um exemplo do pulso "burst" (sincronismo de cor para TV's).

## MEDIDAS EM AM UTILIZANDO "ZERO SPAN" E FFT

Uma das mais poderosas "ferramentas" de trabalho que o analisador de espectro possui é a operação em "zero Span" mode. Esse modo é ideal para medidas em amplitude modulada, e proporciona medidas no domínio do tempo, exatamente como o osciloscópio.

Para utilizarmos o analisador em medidas AM com zero Span, a frequência central deve ser ajustada para a portadora de AM, e o RBW (resolution bandwidth) deverá ser "largo" o suficiente para que as bandas laterais passem (**figura 19**). Somente então ajustaremos o Span para 0 Hz. Isso causará a parada da rampa (Sweeping) e ativará a recepção em sintonia fixa, mostrando o sinal como amplitude x tempo (**figura 20**).



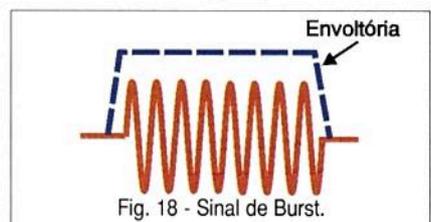
No exemplo, podemos notar que se trata de uma senóide de 4 kHz.

Ao mesmo tempo que o zero Span nos mostra a forma-de-onda do sinal, não informa precisamente qual é a qualidade dele. Alguns analisadores também podem operar em FFT (Fast Fourier Transform) dentro da função zero Span. Para esses equipamentos, além da forma do sinal, conseguimos

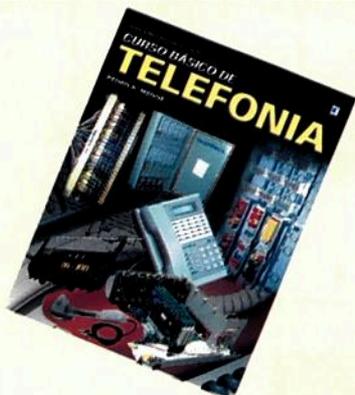
observar sua qualidade. A **figura 21** mostra essa facilidade onde podemos observar que a senóide em questão está "limpa", sem ruídos e, portanto, de boa qualidade.

## CONCLUSÃO

Acreditamos que esses dois artigos tenham fornecido uma breve noção sobre o analisador de espectro aos nossos leitores. Com certeza, quem souber utilizar corretamente esse instrumento tem uma poderosa ferramenta de trabalho, tanto no ramo das telecomunicações, como no am-



## CURSO BÁSICO DE TELEFONIA



**TELEFONIA BÁSICA:** Histórico da Telefonia/ Cápsula Transmissora de Carvão/Cápsula Receptora/Sistemas Simples de Comunicação/ Sinalização/Comutação/Meios de Transmissão/ Redes/Cabos e Fios Telefônicos/ Blocos de Ligação/Comunicações Privativas/ Entroncamento Digital E1

**DISCO DATILAR:** Conceitos/Disco Modelo BT/ Disco Modelo DLG/ Badisco com Proteção

**TELEFONES NACIONAIS:** Starlite BT 278 EM/ Starlite GTS 2 BL/Starlite MT 182-A/Dialog 0147 Telefone Padrão Brasileiro/Teclador/ Telefone Eletrônico/Telefone Premium

**MICRO PABX:** Conceitos Básicos/As Partes do Micro PABX/Acessórios para PABX/Montando a Rede

**INSTALAÇÕES:** Instalar Tomada Padrão/ Instalar Chave Comutadora/ Entrada Telefônica Residencial/Entrada Telefônica Comercial/ Instalar Bloco de Engate Rápido/Suportes em Entradas Telefônicas Residenciais/Instalar Roldanas/Instalar Fio FE/Equipar Postes/ Ferramentas do Instalador

**PROJETOS:** Indilín/Catel/Chamex/Sigitel/ Campatel/Lumitel/Batetro

**EQUIPAMENTOS:** Telefone de Campanha/ Gerador de Sinal/Simulador de Linha Telefônica

**NORMAS TÉCNICAS:** Caixas DG-de Distribuição-de Passagem/Tubulação de Entrada Aérea/Aterramento de Caixa e Sala de DG/ Conexão por Enrolamento/Equipamentos de Proteção Individual/Cabo CI Conector de Blindagem/Identificação de Terminais de Cabos

**TELEFONIA CELULAR:** Introdução/Sistema Móvel Celular/Plano de Numeração/Tarifas

**CABEAMENTO UTP:** Introdução/Componentes do Sistema/Fundamentos de Transmissão/ Resumo das Normas/ Resumo dos Boletins/ Práticas de Manuseio/Instalação de um Cabo de Poucos Pares/ Instalação de um Cabo de Vários Pares/Instalação de Vários Cabos de 4 Pares

### SABER PUBLICIDADE E PROMOÇÕES LTDA.

Verifique as instruções na solicitação de compra da última página. Maiores informações **Disque e Compre (0 XX 11) 296-5333.** -Rua Jacinto José de Araújo, 309 - Tatuapé - São Paulo - SP  
**REMETEMOS SELO CORREIO PARA TODO O BRASIL**

Fig. 19 - Ajuste de RBW.

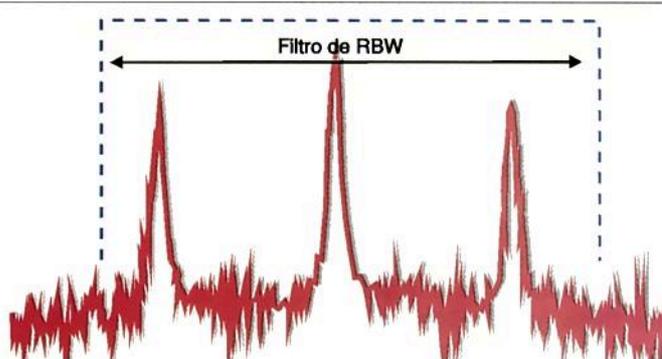
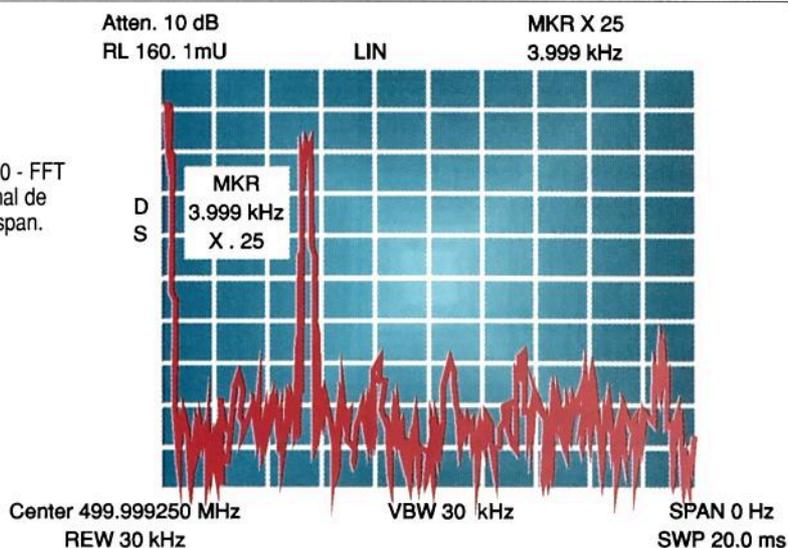


Fig. 20 - FFT do sinal de zero span.



biente industrial. Novamente pedimos aos nossos leitores que enviem (por carta ou e-mail) suas sugestões para novos artigos, e críticas para os já publicados.

Para os leitores que estão necessitando de maiores informações sobre instrumentação eletrônica (analisadores de espectro, analisadores lógicos, osciloscópios, acessórios, etc.),

sugerimos a consulta do site: [www.educatorscorner.com](http://www.educatorscorner.com) da Agilent Technologies (HP).

Esse site tem várias informações úteis, que incluem vários *Application Notes* que podem ser "baixados" via web, gratuitamente.

Em breve voltaremos a abordar mais instrumentos eletrônicos. Não percam, e até a próxima! ■

Fig. 21 - Zero span.

